

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomassa

2.1.1 Pengertian Biomassa

Secara umum biomassa merupakan bahan yang dapat diperoleh dari tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung dan dimanfaatkan sebagai energi dalam jumlah yang sangat besar. Biomassa juga disebut sebagai “*fitomassa*” dan seringkali diterjemahkan sebagai *bioresource* atau sumber daya yang diperoleh dari hayati. basis sumber daya ini meliputi ratusan bahkan ribuan spesies tanaman daratan dan lautan, berbagai sumber pertanian, perhutanan dan limbah residu dari proses industri serta kotoran hewan.

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Selain digunakan untuk tujuan primer yaitu serat, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Pada umumnya digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya

Potensi biomassa di Indonesia yang biasa digunakan sebagai sumber energi jumlahnya sangat melimpah. Pemanfaatan limbah sebagai bahan bakar nabati memberikan tiga keuntungan langsung. Pertama, peningkatan efisiensi energi, secara keseluruhan karena kandungan energi yang terdapat pada limbah cukup besar dan akan terbuang percuma jika tidak dimanfaatkan. Kedua, penghematan biaya, karena seringkali membuang limbah biasa lebih mahal dari pada memanfaatkannya. Ketiga, mengurangi keperluan akan tempat penimbunan sampah karena penyediaan tempat penimbunan akan menjadi lebih sulit dan mahal, khususnya di daerah perkotaan.

Salah satu langkah untuk mengurangi emisi karbon dioksida ialah melalui pengenalan energi terbarukan dan ramah lingkungan, energi tersebut merupakan energi biomassa. Biomassa membentuk bagiannya sendiri melalui proses fotosintesis. Konsentrasi gas karbon dioksida di atmosfer tidak akan berubah

selama karbon dioksida yang dilepaskan oleh pembakaran biomassa setelah pemanfaatan energi dikembalikan seperti semula, seperti proses *reforestasi*, ini disebut netralitas karbon biomassa. Energi yang menggantikan bahan bakar fosil dapat diperoleh dari siklus, yaitu pembakaran biomassa, emisi karbon dioksida dan refiksasi karbon dioksida. Oleh karena itu emisi karbon dioksida dapat direduksi dengan cara mengganti bahan bakar fosil dengan biomassa.

Biomassa berasal dari limbah-limbah rumah tangga, pertanian dan peternakan. Limbah yang berasal dari sisa-sisa pembuangan rumah tangga, hewan maupun tumbuhan semuanya potensial untuk dikembangkan. Tanaman pangan dan perkebunan menghasilkan limbah yang cukup besar, yang dapat dipergunakan untuk keperluan lain seperti bahan bakar nabati.

2.1.2 Sumber Biomassa di Indonesia

Biomassa berasal dari limbah-limbah rumah tangga, pertanian dan peternakan. Limbah yang berasal dari hewan maupun tumbuhan semuanya potensial untuk dikembangkan. Tanaman pangan dan perkebunan menghasilkan limbah yang cukup besar, yang dapat dipergunakan untuk keperluan lain seperti bahan bakar nabati. Salah satu biomassa yang belum terlalu banyak pemanfaatannya adalah limbah kayu dan tempurung kelapa.

2.1.2.1 Biomassa Limbah Kayu

Kayu adalah hasil hutan dari kekayaan alam, merupakan bahan mentah yang mudah diproses untuk dijadikan barang sesuai kemajuan teknologi. Pengertian kayu disini adalah sesuatu bahan, yang diperoleh dari hasil pemungutan pohon-pohon di hutan, yang merupakan bagian dari pohon tersebut, setelah diperhitungkan bagian-bagian mana yang lebih banyak dimanfaatkan untuk sesuatu tujuan penggunaan. Baik berbentuk kayu pertukangan, kayu industri maupun kayu bakar (Dumanauw.J.F, 1990).

Purwanto dkk, (1994) menyatakan komposisi limbah pada kegiatan pemanenan dan industri pengolahan kayu adalah sebagai berikut :

1. Pada pemanenan kayu, limbah umumnya berbentuk kayu bulat, mencapai 66,16%.
2. Pada industri penggergajian limbah kayu meliputi serbuk gergaji 10,6 %, sebetan 25,9 % dan potongan 14,3 %, dengan total limbah sebesar 50,8 % dari jumlah bahan baku yang digubakan.
3. Limbah pada industri kayu lapis meliputi limbah potongan 5,6%, serbuk gergaji 0,7%, sampah vinir basah 24,8%, sampah vinir kering 12,6% sisa kupasan 11,0% dan potongan tepi kayu lapis 6,3%. Total limbah kayu lapis ini sebesar 61,0% dari jumlah bahan baku yang digunakan.

Data Departemen Kehutanan dan Perkebunan tahun 1999/2000 menunjukkan bahwa produksi kayu lapis Indonesia mencapai 4,61 juta m³ sedangkan kayu gergajian mencapai 2,06 juta m³. Dengan asumsi limbah yang dihasilkan mencapai 61% maka diperkirakan limbah kayu yang dihasilkan mencapai lebih dari 5 juta m³ (BPS, 2000).

Pada umumnya komponen kimia yang terdapat pada kayu daun lebar dan kayu daun jarum terdiri dari 3 unsur yaitu: (Dumanauw.J.F, 1993)

1. Unsur karbohidrat terdiri dari selulosa dan hemiselulosa.
2. Unsur non-karbohidrat terdiri dari lignin.
3. Unsur yang diendapkan dalam kayu selama proses pertumbuhan dinamakan zat ekstraktif.

Tabel 1. Komposisi Unsur Kayu

Unsur	% Berat Kering
Karbon	49
Hidrogen	6
Oksigen	44
Nitrogen	Sedikit
Abu	0,1

Sumber: Haygreen.J.G, 1987

A. Komposisi Kimia Kayu

a. Zat – Zat Makromolekul

Sel kayu terutama terdiri atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Dimana

selulosa membentuk kerangka yang dikelilingi oleh senyawa-senyawa lain yang berfungsi sebagai matriks (hemiselulosa) dan bahan-bahan yang melapisi (lignin). Sepanjang menyangkut komponen kimia kayu, maka perlu dibedakan antara komponen-komponen makromolekul utama dinding sel selulosa, poliosa (hemiselulosa) dan lignin, yang terdapat pada semua kayu, dan komponen-komponen minor dengan berat molekul kecil (ekstraktif dan zat-zat mineral). Perbandingan dan komposisi kimia lignin dan poliosa berbeda pada kayu lunak dan kayu keras, sedangkan selulosa merupakan komponen yang seragam pada semua kayu (Sjostrom.E, 1993).

Unsur-unsur penyusun kayu tergabung dalam sejumlah senyawa organik: selulosa, hemiselulosa dan lignin. Proporsi lignin dan hemiselulosa sangat bervariasi di antara spesies-spesies kayu, dan antara kayu keras dan kayu lunak.

Tabel 2. Komponen Kimia Menurut Golongan Kayu

Tipe	% Berat Kering		
	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin
Kayu Keras	40-44	15-35	18-25
Kayu Lunak	40-44	20-32	25-35

Sumber : Kollmann dan Cote, 1968

1. Selulosa

Selulosa merupakan komponen kayu yang terbesar, yang dalam kayu lunak dan kayu keras jumlahnya mencapai hampir setengahnya. Selulosa merupakan polimer linear dengan berat molekul tinggi yang tersusun seluruhnya atas β -D-glukosa. Karena sifat-sifat kimia dan fisiknya maupun struktur supramolekulnya maka ia dapat memnuhi fungsinya sebagai komponen struktur utama dinding sel tumbuhan (Fengel.D, 1995). Selulosa adalah bahan dasar yang penting bagi industri yang memakai selulosa sebagai bahan baku, misalnya: pabrik kertas, pabrik sutera tiruan dan sebagainya (Dumanauw.J.F, 1993).

2. Poliosa (Hemiselulosa)

Jumlah hemiselulosa dari berat kering kayu biasanya antara 20 dan 30%. Komposisi dan struktur hemiselulosa dalam kayu lunak secara khas berdeda

dari kayu keras. Perbedaan-perbedaan yang besar juga terdapat dalam kandungan dan komposisi hemiselulosa antara batang, cabang, akar, dan kulit kayu. Seperti halnya selulosa kebanyakan hemiselulosa berfungsi sebagai bahan pendukung dalam dinding sel (Sjostrom.E, 1995).

3. Lignin

Lignin adalah komponen makromolekuler dinding sel ketiga. Lignin tersusun dari satuan-satuan fenilpropan yang satu sama lain dikelilingi berbagai jenis zat pengikat. Persentase rata-ratanya dalam kayu lunak adalah antara 25-35% dan dalam kayu keras antara 20-30%. Perbedaan struktural yang terpenting dari lignin kayu lunak dan lignin kayu keras, adalah bahwa lignin kayu keras mempunyai kandungan metoxil (-OCH₃) yang lebih tinggi (Hohnholz.J.H, 1988).

b. Zat – zat berat molekul rendah

Di samping komponen-komponen dinding sel, terdapat juga sejumlah zat-zat yang disebut bahan tambahan atau ekstraktif kayu. Meskipun komponen-komponen tersebut hanya memberikan saham beberapa persen pada massa kayu, komponen tersebut dapat memberikan pengaruh yang besar pada sifat-sifat dan kualitas pengolahan kayu.

Zat-zat berat molekul rendah berasal dari golongan senyawa kimia yang sangat berbeda hingga sukar untuk membuat sistem klasifikasi yang jelas tetapi komprehensif.

1. Zat Ekstraktif

Zat ekstraktif umumnya adalah zat yang mudah larut dalam pelarut seperti eter, alkohol, bensin dan air. Banyaknya rata-rata 3 – 8% dari berat kayu kering tanur. Termasuk di dalamnya minyak-minyakan, resin, lilin, lemak, tannin, gula, pati, dan zat warna. Zat ekstraktif memiliki arti yang penting dalam kayu karena:

- dapat mempengaruhi sifat keawetan, warna, bau, dan rasa suatu jenis kayu
- dapat digunakan untuk mengenal suatu jenis kayu. (Dumanauw.J.F, 1993)

Kandungan dan komposisi ekstraktif berubah-ubah di antara spesies kayu. Tetapi juga terdapat variasi yang tergantung pada tapak geografi dan musim.

2. Abu

Di samping persenyawaan-persenyawaan organik, di dalam kayu masih ada beberapa zat organik, yang disebut bagian-bagian abu (mineral pembentuk abu yang tertinggal setelah lignin dan selulosa habis terbakar). Kadar zat ini bervariasi antara 0,2 – 1% dari berat kayu (Dumanauw.J.F, 1993).

Kayu hanya mengandung komponen-komponen anorganik dengan jumlah yang agak rendah, diukur sebagai abu yang jarang melebihi 1% dari berat kayu kering. Namun kandungan abu dalam tugi, daun, dan kulit dapat jauh lebih tinggi. Abu ini asalnya terutama dari berbagai garam yang diendapkan dalam dinding-dinding sel dan lumen. Komponen logam yang banyak jumlahnya adalah kalsium diikuti kalium dan magnesium (Sjostrom.E, 1995).

2.1.2.2 Biomassa Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan bagian dari buah kelapa yang fungsinya secara biologis adalah pelindung inti buah dan terletak di bagian sebelah dalam sabut dengan ketebalan berkisar antara 2-6 mm. Tempurung kelapa dikategorikan sebagai kayu keras dengan kadar air sekitar 6-9 % (dihitung berdasarkan berat kering). Data komposisi kimia tempurung kelapa dapat kita lihat pada Tabel 2.3.

Tabel 3. Komposisi kimia tempurung kelapa

Komponen	Persentase (%)
Selulosa	26,6
Hemiselulosa	27,7
Lignin	29,4
Abu	0,6
Komponen Ekstraktif	4,2
Uronat Anhidrat	3,5
Nitrogen	0,1
Air	8,0

Sumber: Suhardiyono, 1988

Produksi kelapa khususnya di Sumatera Selatan cukup berpotensi. Data 5 tahun terakhir produksi kelapa dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 4. Produksi Kelapa Menurut Provinsi, 2008 - 2012

Tahun	2009	2010	2011	2012	2013
Produksi	59.035	54.001	66.037	59.366	60.070
Pertumbuhan (%)	1,19				

Sumber: Direktorat Jenderal Perkebunan, 2014

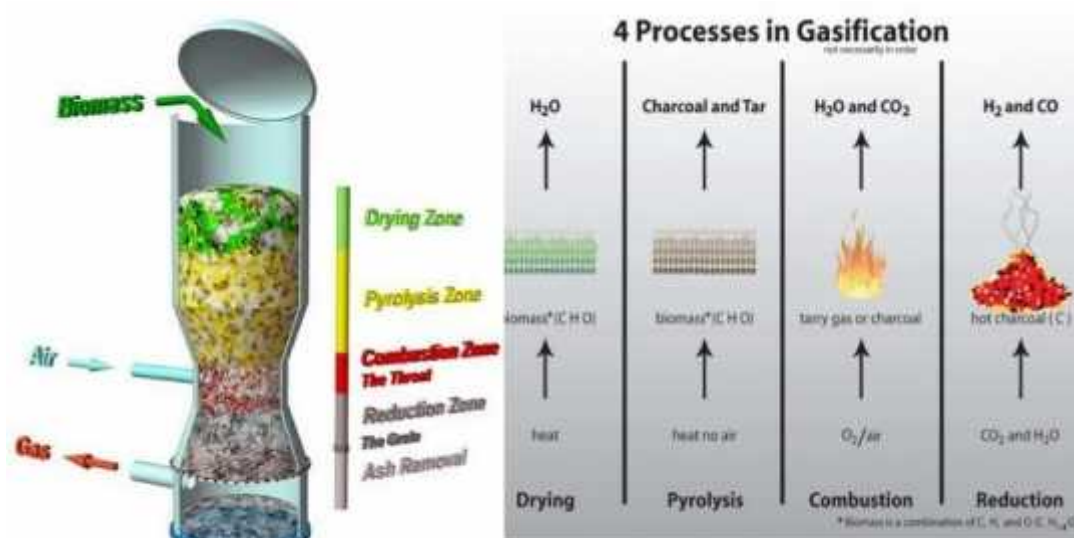
Berdasarkan data terjadi peningkatan produksi buah kelapa di Sumatera Selatan sebesar 1,19 % pada tahun 2013. Dengan melihat pertumbuhan tersebut maka tempurung kelapa cukup berpotensi untuk dijadikan bahan bakar proses gasifikasi. Dari 1,1 juta ton/tahun tempurung dengan kemungkinan energi yang dapat dihasilkan $18,7 \times 10^6$ GJ/tahun (Ihsan, 2012).

2.2 Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses konversi energi dari bahan bakar yang mengandung karbon (padat ataupun cair) menjadi gas yang disebut *producer gas* atau *syngas* dimana gas tersebut memiliki nilai bakar dengan cara oksidasi parsial pada temperatur tinggi. Produk luaran gasifikasi yang telah dimurnikan adalah komponen yang mudah terbakar yang terdiri dari campuran karbon monoksida (CO), *hydrogen* (H₂) dan metan (CH₄) yang disebut *syngas* dan pengotor inorganik seperti NH₃, HCN, H₂S, debu halus, serta pengotor organik yaitu tar (T.A Milne *et al.*, 1998; D.J Stevens, 2001) Proses gasifikasi mempunyai 2 *stage* reaksi yaitu proses oksidasi dan reduksi. Sub-stoikiometerik oksidasi menggiring gas mudah menguap dari biomassa dan proses ini adalah eksotermis (melepaskan energi). Proses ini berlangsung pada temperatur 1100–1200 °C dan terjadi pembangkitan produk gas seperti karbon monoksida, hidrogen dan karbon dioksida (CO₂) serta uap air yang mana pada gilirannya di reduksi ke karbon monoksida dan hidrogen dengan *bed charcoal* panas yang dibangkitkan selama proses gasifikasi. Sedangkan reaksi reduksi adalah sebuah reaksi endotermis (membutuhkan panas) untuk membangkitkan produk yang mudah terbakar seperti hidrogen, karbon monoksida dan metan (M.Yang, 2007).

2.3 Gasifier

Gasifier adalah reaktor berlangsungnya proses gasifikasi, di dalam reaktor tersebut terjadi empat proses yang berbeda yang berlangsung dalam sebuah gasifier seperti yang terlihat pada gambar 2.1. Masing-masing diasumsikan menempati area yang berbeda dimana secara fundamental berlangsung reaksi termal dan kimia yang berbeda.



Gambar 1. Empat zona proses gasifikasi
(Sumber: Solar Energy Research Institute, 1979)

2.3.1 Zona Proses Di Dalam Gasifier

Pengeringan: Prosesnya yaitu kandungan air yang ada dalam biomassa diekstrak dalam bentuk uap tanpa adanya dekomposisi kimia dari biomasa.



Pirolisis: Setelah pengeringan dilakukan, bahan bakar akan turun dan menerima panas sebesar 250-500 °C dalam kondisi tanpa udara. Pirolisis dimulai dari dekomposisi hemiselulosa pada 200-250 °C, dekomposisi selulosa sampai 350 °C, dan pirolisis sampai 500 °C. Selanjutnya pengarangan berlangsung pada 500-900°C, yang terjadi pada batas zona pirolisis dan oksidasi. Produk dari proses ini terbagi menjadi produk cair (Tar dan PAH), produk gas (H_2 , CO, CO_2 , H_2O , CH_4), tar dan arang. Reaksi kimia pirolisis dapat dituliskan sebagai berikut: (Prabir Basu, 2010; FAO, 1986).

Biomasa + panas = arang + tar + gas (H₂, CO, CO₂, H₂O, CH₄, C_xH_y).

Pembakaran: adalah proses untuk dapat menghasilkan panas yang memanaskan lapisan karbon dibawah. Arang yang terbentuk dari ujung zona pirolisis masuk ke oksidasi, selanjutnya dibakar pada temperatur operasi yang cukup tinggi 900-1400 °C. Pada *gasifier downdraft* temperatur setinggi ini, akan menghancurkan substansi tar sehingga kandungan tar menjadi lebih rendah. Sekitar 20% arang beserta volatile teroksidasi dengan memanfaatkan O₂ yang terbatas, sisa 80% arang turun kebawah menuju bagian reduksi yang hampir semuanya akan dipakai, menyisakan abu yang jatuh ke tempat pembuangan (Prabir Basu, 2010; FAO, 1986).

2C + O₂ = 2CO + Energi termal

2CO + O₂ = 2 CO₂ + Energi termal

Tar minyak metana, dan lain-lain = CO, CO₂, H₂O, CH₄ + Energi termal

Reduksi: Proses ini bersifat mengambil panas yang berlangsung pada suhu 400-900°C. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia yang merupakan proses penting terbentuknya beberapa senyawa yang berguna untuk menghasilkan *combustible gas* seperti H₂, CO, CH₄ atau yang dikenal dengan *syngas*. Berikut reaksi kimia di zona reduksi: (Prabir Basu, 2010; FAO, 1986).

Bourdouar reaction **CO₂ + C = 2CO – Energi termal**

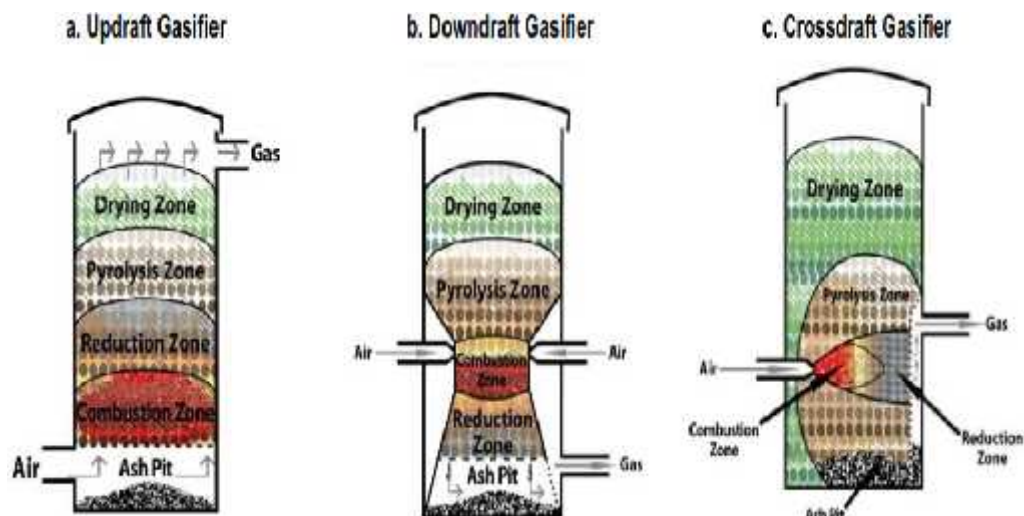
Steam-carbon reaction **C + H₂O = CO + H₂ – Energi termal**

Water-gas shift reaction **CO + H₂O = CO₂ + H₂ + Energi Termal**

CO methanation **CO + 3H₂ = CH₄ + H₂O**

2.3.2 Jenis Gasifier

Sejarah gasifikasi mengungkapkan beberapa rancangan gasifier yang diklasifikasikan oleh arah aliran gas melalui reaktor (arah naik, turun, atau mendatar), dimana jenis rektor yang digunakan antara lain sebagai berikut:



Gambar 2. Beberapa Tipe *Gasifier*

2.3.2.1 *Gasifier Tipe Updraft*

Pada tipe ini umpan dimasukkan pada bagian atas reaktor dan bergerak kebawah melewati zona pengeringan, pirolisis, reduksi, dan oksidasi. Sedangkan udara masuk pada bagian bawah dan gas keluar pada bagian atas. Keunggulan tipe ini yaitu kesederhanaanya, tingkat pembakaran arang yang tinggi, pertukaran panas internal sehingga suhu gas keluar rendah, dan efisiensi gasifikasi yang tinggi. Selain itu bahan baku yang diumpankan dapat berada pada kondisi kadar air yang cukup tinggi (50% wb). Kekurangannya, *producer gas* yang keluar dari reaktor berada pada kondisi temperatur rendah ($<500^{\circ}\text{C}$), membawa tar yang terkondensasi serta minyak yang berasal dari proses pirolisis (SERI, 1979; Adi Surjosatyo, 2008; Alexander Klein, 2002). *Gasifier* ini sesuai untuk pemanfaatan panas langsung.

2.3.2.2 *Gasifier Tipe Downdraft*

Gasifier downdraft dirancang untuk mengurangi tar yang terkondensasi serta minyak yang diproduksi dari *counterflow gasifier (updraft)*. Dalam Mekanismenya, aliran biomassa dan udara gasifikasi bergerak ke bawah dalam arah yang sama (*co-flow*) menuju *bed* bahan bakar. Ketika bahan bakar di dalam reaktor bergerak ke bawah, uap akan terpirolisis dan *char* langsung masuk

ke bagian pengecilan pada bagian bawah reaktor. Pada saat itu udara akan diinjeksikan ke bagian tersebut melalui dinding reaktor. Kondisi temperatur yang tinggi pada bagian pengecilan akan membakar tar dan minyak pada *producer gas*. Kemudian *producer gas* akan keluar dari bagian bawah reaktor dengan dihisap melalui anulus pada dinding reaktor. Dikarenakan rendahnya kandungan tar dan minyak, *gasifier* tipe *downdraft* banyak diaplikasikan untuk mesin pembakaran *internal* (SERI, 1979; Adi Surjosatyo, 2008; Alexander Klein, 2002; P.Hasler dkk, 1999).

2.3.2.3 *Gasifier* Tipe *crossdraft*

Gasifier tipe *crossdraft* didesain untuk pemakaian arang, dimana mekanis mengalirkan udara mengalir tegak lurus terhadap zona pembakaran. Gasifikasi arang menghasilkan suhu yang sangat tinggi ($>1500^{\circ}\text{C}$) di daerah oksidasi, yang dapat mengakibatkan masalah pada material reaktor. Selain itu kinerja pemecahan tar termasuk rendah, sehingga diperlukan arang berkualitas tinggi. Keunggulan tipe ini adalah, dapat dioperasikan pada skala sangat kecil dan konstruksi bagian pemurnian *producer gas* (siklon dan *baghouse filter*) relatif sederhana (SERI, 1979; J.A.Remulla, 1982). Parameter teknis dan operasional beberapa tipe diatas terdapat pada tabel 2.5 dan tabel 2.6.

Tabel 5. Parameter teknis beberapa jenis *gasifier*

Uraian	Jenis <i>Gasifier</i>		
	<i>Downdraft</i>	<i>Updraft</i>	<i>Crossdraft</i>
Kapasitas komersial maks (kWe)	350	4.000	150
Waktu penyetelan (min)	10-20	15-60	10-20
LHV syngas (kJ/Nm^3)	4,5-5,0	5,0-6,0	
HG <i>full load</i> (%) ¹	85-90	90-95	
CG <i>full load</i> (%) ²	65-75	40-60	

¹ HG (efisiensi gas panas), jika diaplikasikan untuk aplikasi pembangkit panas

² CG (efisiensi gas dingin), jika gas diaplikasikan setelah didinginkan sampai temperatur lingkungan untuk aplikasi pembangkit daya

Sumber: H.E.M. Stasse et al., 1995; NUOL Kythavone Sengratry, 2006.

Tabel 6. Parameter Operasional Gasifier

Pengoperasian <i>Gasifier</i>		
Meningkatkan temperatur	➤ Menurunkan kandungan <i>char</i> dan tar ➤ Menurunkan metan dalam <i>producer gas</i> ➤ Meningkatkan konversi karbon ➤ Meningkatkan nilai kalor <i>syngas</i>	➤ Menurunkan efisiensi energi ➤ Meningkatkan problema <i>ash</i>
Meningkatkan tekanan	➤ Menurunkan kandungan <i>char</i> dan tar ➤ Tidak memerlukan pengompresian <i>producer gas</i> untuk penggunaan <i>downstream</i>	➤ Terbatasnya pengalaman desain dan operasional ➤ Biaya mahal
Meningkatkan ekuivalensi rasio	➤ Menurunkan kandungan <i>char</i> dan tar	➤ Menurunkan nilai kalor <i>producer gas</i>

Sumber: H.E.M. Stasse et al., 1995; NUOL Kythavone Sengratry, 2006.

Berkualitas atau tidaknya *producer gas* dapat dipengaruhi dari beberapa faktor seperti jenis biomassa, *gasifying agent*, reaktor, dan *air fuel ratio* (AFR) gasifikasi (Gita Astari P., 2009; Prabir Basu, 2010). Hal yang perlu ditekankan bahwa, AFR memegang peranan penting dalam proses gasifikasi ini. Sedikit keluar dari standar yang ditetapkan yaitu 1,5, proses akan mengarah ke pembakaran sempurna dimana CO₂ akan semakin mendominasi kandungan *producer gas*. Akan tetapi, Perlu digaris-bawahi bahwa nilai tersebut bukanlah batas mutlak untuk melangsungkan proses gasifikasi secara maksimum. Sebab disamping AFR, terdapat faktor lain yaitu jenis biomassa.

Berdasarkan riset terdahulu, gasifikasi dengan bahan serpihan kayu memiliki AFR terbaik berada di titik 0,96 dimana komposisi gas mampu bakar relatif lebih besar hingga kualitas penyalaan api *syngas* berwarna biru dengan LHV sekitar 4800 kJ/m³ (Ferry Ardianto, 2010). AFR tersebut berbeda dengan AFR gasifikasi sekam padi yang memiliki titik terbaik berada pada 1,25 yang menghasilkan komposisi CH₄, H₂, CO, dan LHV yang terbesar senilai 3.289,38

kJ/kg (Dimas Setiawan, 2011). Disamping itu walau berasal dari bahan dasar yang sama, briket sekam padi ternyata juga memiliki AFR gasifikasi maksimum yaitu 0,8 dengan LHV *syngas* sebesar 9159 kJ/Nm³ (Ashari Hutomo, 2012).

Pemilihan jenis reaktor akan sangat berpengaruh terhadap karakteristik *producer gas* yang diproduksi termasuk didalamnya temperatur, jumlah kandungan tar, serta keberadaan partikulat. Maka dari itu perlu dicermati secara seksama pemilihan jenis reaktor terhadap karakteristik penggunaan *producer gas* tersebut. Representasi tingkatan tar dan partikulat untuk beberapa jenis *gasifier* secara umum ditampilkan pada tabel 2.7.

Tabel 7. Perbandingan tingkatan tar dan partikulat dari beberapa tipe *gasifier*

Tipe <i>Gasifier</i>	Muatan Partikulat (g/Nm ³)			Muatan Tar (g/Nm ³)		
	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Representative Range</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Representative Range</i>
<i>Fixed Bed</i>						
<i>Downdraft</i>	0,01	10	0,1-0,2	0,04	6,0	0,1-0,2
<i>Updraft</i>	0,1	3	0,1-0,2	1	150	20-100
<i>Moving Bed</i>						
<i>Fluidized Bed</i>	1	100	2-20	< 0,1	23	1-15
<i>Circulating FB</i>	8	100	10-35	< 1	30	1-15

Sumber: R.G Graham et al., 1993; J.P.A Neeft et al., 1999

2.4 Bahan Baku Gasifikasi

Faktanya tidak semua biomassa dapat dikonversikan dengan proses gasifikasi, karena ada beberapa klarifikasi dalam mendefinisikan bahan baku yang dipakai pada sistem gasifikasi. Pendefinisian bahan baku gasifikasi tersebut, dimaksudkan untuk memilah antara bahan baku yang baik dan yang kurang baik. Beberapa parameter yang dipakai untuk mengklarifikasikannya yaitu :

► Kandungan Energi

Bahan baku dengan kandungan energi yang tinggi akan memberikan pembakaran gas yang lebih baik.

► Kandungan *Moisture*

Bahan baku yang digunakan untuk proses gasifikasi umumnya diharapkan ber-*moisture* rendah, sebab bahan baku tersebut menghasilkan gas berkualitas baik, bernilai kalor tinggi, serta mampu mencapai efisiensi optimal (Ferry Ardianto, 2010). Kandungan *moisture* yang tinggi menyebabkan *heat loss* yang berlebihan, dan juga membuat beban pendinginan semakin tinggi dikarenakan *pressure drop* yang terjadi meningkat. Idealnya kandungan *moisture* yang sesuai untuk bahan gasifikasi $< 20\%$ (Carolyn Roos, 2008).

► Kandungan Abu

Abu merupakan bahan inorganik atau kandungan mineral yang tertampung didalam reaktor setelah bahan baku terbakar sempurna. Jumlah abu dari berbagai jenis umpan bervariasi dari 0,1% untuk kayu hingga 15% untuk beberapa produk pertanian, sehingga hal tersebut mempengaruhi desain reaktor terutama dalam sistem pembuangan abu. Komposisi kimia abu juga mempengaruhi perilaku pelelehan abu, dimana dapat menyebabkan *slagging* dan penyumbatan di dalam reaktor (L.Devi *et al.*, 2005). Desain *gasifier* yang baik setidaknya menghasilkan kandungan abu kurang dari $2-6 \text{ g/m}^3$ (A.Kaupp *et al.*, 1981).

► Tar

Tar adalah cairan hitam kental yang terbentuk dari destilasi destruktif pada material organik. Tar merupakan salah satu kandungan yang paling merugikan dan harus dihindari karena sifatnya yang korosif dan membahayakan lingkungan. Pada reaktor gasifikasi terbentuknya tar, terjadi pada temperatur pirolisis yang kemudian terkondensasi pada suhu $200-600^\circ\text{C}$ dalam bentuk asap. Namun pada beberapa kejadian tar dapat berupa zat cair pada temperatur yang lebih rendah (A.Kaupp, 1982). *Producer gas* yang mengandung tar relatif tinggi jika diumpankan pada *IC engine*, dapat menimbulkan deposit pada karburator dan *intake valve* sehingga menurunkan *lifetime* mesin (A.Kaupp, 1982; N.Barker, 1998). Desain *gasifier* yang baik setidaknya menghasilkan tar tidak lebih dari 1g/m^3 (Harold Boerrigter dkk, 2004).

Penyiapan umpan biomassa perlu diperhatikan karena hampir semua jenis umpan memiliki variasi karakteristik fisik, kimia, dan morfologi yang berbeda. Pengolahan awal bahan baku juga dipengaruhi pada karakteristik *gasifier*, seperti kapasitas dan jenis reaktor. Sebagai contoh, *gasifier* tipe *downdraft* lebih mengharuskan keseragaman biomassa dibanding tipe *updraft*. Persyaratan bahan baku untuk setiap *gasifier* tersaji dalam tabel 2.8.

Tabel 8. Persyaratan Bahan Bakar Untuk Setiap Tipe *Gasifier*

Uraian	Jenis <i>Gasifier</i>		
	<i>Downdraft</i>	<i>Updraft</i>	<i>Crossdraft</i>
Ukuran (mm)	20-100	5-100	1-3
Kadar <i>moisture</i> (%)	< 20	< 50	< 7
Kadar abu (%)	< 5	< 15	< 7
Morfologi	Seragam	Hampir seragam	Seragam
Densitas bulk (kg/m ³)	>500	>400	>400
Titik leleh abu (°C)	>1.250	>1.250	>1.250

Sumber: H.E.M. Stasse et al., 1995; NUOL Kythavone Sengratry, 2006.

2.5 Karakteristik Api

Dalam proses pembakaran, bahan bakar dan udara bercampur dan terbakar dan pembakarannya dapat terjadi baik dalam mode nyala api ataupun tanpa mode nyala api. Bahan bakar merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar.

Berdasarkan buku *an introduction to combustion concept and application* oleh Stephen R. Turns (1996), definisi api adalah pengembangan yang bertahan pada suatu daerah pembakaran yang dialokasikan pada kecepatan subsonic. Warna api dipengaruhi oleh 2 hal yaitu kandungan bahan bakar dan campuran udara yang ikut terbakar. Ketika api memiliki warna cenderung merah hal tersebut dapat diartikan bahwa bahan terbakar api tersebut dan memiliki nilai kalor yang relative rendah, atau udara yang mencampuri proses pembakaran hanya sedikit sehingga campuran kaya. Saat api berwarna kebiruan adalah

sebaliknya yang merepresentasikan nilai kalor bahan bakar yang tinggi, atau campuran miskin. Terdapat dua tipe mode nyala api, yaitu:

2.5.1 Premixed Flame

Premixed flame adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar bercampur dengan oksigen yang telah tercampur sempurna sebelum pemberian sumber api. Umumnya indikasi premixed flame dapat dilihat dari warna api yang berwarna biru. Laju pertumbuhan api tergantung dari komposisi kimia bahan bakar yang digunakan.

2.5.2 Diffusion Flame (Non-premixed)

Diffusion Flame adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar dan oksigen bercampur dan penyalaan dilakukan secara bersamaan. Laju difusi reaktan bisa dipengaruhi oleh energi yang dimiliki oleh bahan bakar. Umumnya pada nyala api difusi pengaruh udara dari luar sebagai oksidator pembakaran akan berpengaruh pada nyala api yang dihasilkan. Pemunculan dari nyala api akan tergantung pada sifat dari bahan bakar dan kecepatan pemancaran bahan bakar terhadap udara sekitarnya. Laju pencampuran bahan bakar dengan udara lebih rendah dari laju reaksi kimia. Nyala api difusi pada suatu pembakaran cenderung mengalami pergerakan nyala lebih lama dan menghasilkan asap lebih banyak daripada nyala *premix*. Nyala difusi berupa nyala laminar (*Laminar Flame*) atau nyala turbulen (*Turbulen Flame*).

Selain itu kedua tipe di atas nyala api juga dibedakan berdasarkan jenis aliran yang terjadi, yaitu:

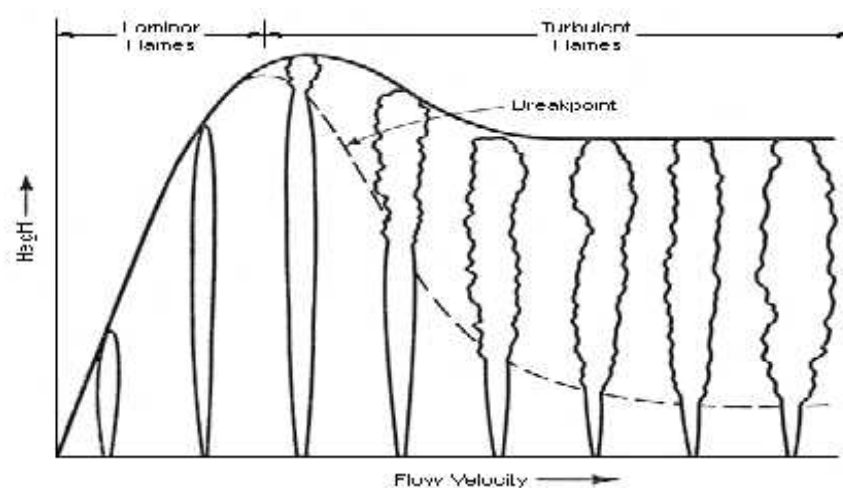
2.5.3 Api Laminar

Visualisasi api yang terlihat pada api tipe ini berbentuk secara laminar atau teratur. Api jenis ini memiliki bentuk mengikuti streamline aliran tanpa membentuk turbulensi atau gerakan tidak beraturan.

2.5.4 Api Turbulen

Api turbulen menunjukkan pola aliran nyala api yang tidak beraturan atau acak yang memberikan indikasi aliran yang bergerak sangat aktif. Pada

pembakaran gas hasil gasifikasi menunjukkan indikasi diskontinuitas atau produksi yang cenderung tidak konstan membuat api yang terbentuk juga mengalami hambatan dalam pertumbuhannya. Gas sebagai reaktan akan direaksikan bersama oksigen bersamaan dengan saat penyalaan. Kualitas dari nyala api juga tak lepas dari nilai kalor yang terkandung dalam syngas yang dihasilkan oleh proses gasifikasi. Semakin tinggi kandungan zat yang *flammable* maka kualitas api juga akan semakin tinggi. Turbulen aliran - aliran tiga dimensi yang tidak teratur terdiri dari pusaran (Transport panas, massa, dan momentum yang beberapa kali lipat lebih besar dari pada molekul konduktivitas, difusivitas, dan viskositas). Model Arus *laminar* vs arus *turbulent* pada nyala api ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 3. Arus *laminar* vs arus *turbulent*
(Sumber: Turns, 1996)

Aliran laminar adalah aliran ketika uap kecepatan rendah pada bahan bakar dilepaskan dari kompor. Meningkatnya turbulensi akan meningkatkan propagasi api. Tapi intensitas turbulensi terlalu banyak menyebabkan tingkat propagasi menurun dan menyebabkan api padam. Turbulensi di pengaruhi aliran bahan bahan bakar yang menguap, kecepatan aliran bahan bakar, dan media penguapan bahan bakar (Bangkeju, 2012). Berikut ini beberapa penjelasan mengenai warna dan jenis api:

2.4.5 Api Merah

Api berwarna merah / kuning ini biasanya bersuhu dibawah 1000 °C. Api jenis ini termasuk api yang "kurang panas" dikarenakan jarang atau kurang sering digunakan di pabrik-pabrik industri baja/material. Kalau pada matahari, api ini berada pada bagian paling luarnya, yaitu bagian yang paling dingin. Nyala api merah ditampilkan pada Gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 4. Nyala api merah
(Sumber: Bangkeju, 2012)

2.4.6 Api Biru

Api berwarna biru merupakan api yang mungkin sering kita jumpai di dapur. Biasanya api ini sering kita lihat di kompor gas. Rata-rata suhu api yang berwarna biru kurang dari 2000 °C. Api ini berbahan bakar gas dan mengalami pembakaran sempurna. Jadi tingkatan api biru diatas merah. Nyala api biru ditampilkan pada Gambar 2.4.



Gambar 5. Nyala api biru pada kompor gas
(Sumber: Bangkeju, 2012)

2.4.7 Api Putih

Nyala api ini merupakan api paling panas yang ada di bumi. Warna putihnya itu dikarenakan suhunya melebihi 2000 derajat celcius. Api inilah yang berada di dalam inti matahari, dan muncul akibat reaksi fusi oleh matahari. Api ini paling banyak digunakan di pabrik-pabrik yang memproduksi material besi dan sejenisnya. Nyala api putih ditampilkan pada Gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 6. Nyala api putih pada proses produksi pabrik
(Sumber: Bangkeju, 2012)

2.4.8 Api Hitam

Nyala api yang paling panas itu berwarna Hitam, dan api hitam murni yang sesungguhnya sangat jarang ditemukan di bumi. Api hitam itu bisa saja disimulasikan. Misalnya kita lihat nyala api lilin atau kompor bunsen dengan seksama, maka ada perbedaan spektrum warna di dalamnya. Nyala bunsen burner ditampilkan pada Gambar 2.6 dibawah ini.



(a) laminar (b) turbulen

Gambar 7. Nyala api *bunsen burner*
(Sumber: Bangkeju, 2012)

Dapat dilihat jika di bagian pangkal api ada bagian kecil yang warnanya nyaris transparan, Itulah yang disebut dengan api hitam. Karena definisi warna hitam pada spektrum warna cahaya adalah sebenarnya ketiadaan cahaya, jadi kelihatannya transparan. Ini adalah bagian yang paling panas, sehingga kalau mau memanaskan reaksi kimia, tabung uji harus ditempatkan di bagian ini.

Pada gambar 2.7 di bawah ini adalah contoh untuk simulasi yang lebih jelas. Bisa dilihat kalau apinya seolah menggantung di atas sumbu lilin, bagian transparan itulah yang disebut api hitam.



Gambar 8. Nyala api lilin
(Sumber: Bangkeju, 2012)

Warna dari api juga bisa dibuat dengan pembakaran bahan kimia atau unsur golongan alkali / alkali tanah, contoh:

1. *Red Strontium* adalah api merah (pakai Stronsium).
2. *Orange Calcium Chloride* adalah api oranye (pakai Kalsium).
3. *Yellow Sodium Chloride* adalah api kuning (pakai Sodium).
4. *Green Copper Sulfate* adalah api hijau.
5. *Blue Copper Chloride* adalah api biru.
6. *Violet 3 parts Potassium Sulfate 1 part Potassium Nitrate* adalah api ungu.
7. *White Magnesium Sulfate* adalah api putih (pakai Magnesium).